بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی

دکتر بهلول علیجانی (استاد اقلیم شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران، نویسنده مسؤول)
زهرا نجفی نیک (کارشناس ارشد اقلیم شناسی مرکز تحقیقات اداره کل هواشناسی استان کرمان)
Zahra nagafi @ yahoo. com

چکیده

در این پژوهش، با هدف شناسایی تیپ‌های هوایی مؤثّر بر وارونگی‌های دمایی شهرستان مشهد، ابتدا آمار روزهای دارای وارونگی از ایستگاه جو بالای این شهر تهیه شد. سپس آمار فشار سطح دریا ساعت ۰۰ گرینویچ در تلاقی ۲/۵ درجه در محدوده‌ی ۲۰ تا ۴۷/۵ درجه‌ی شمالی و ۳۵ تا ۶۷/۵ درجه‌ی شرقی، از مرکز NCEP دانشگاه آنجلیای شرقی انگلستان، واقع در شهر نورویچ، تهیه شد. پس از آن برای طبقه بندی داده‌های فشار از روش تحلیل عاملی یا تحلیل مؤلّفه‌های اصلی استفاده شد. امتیاز این روش در این است که ضمن کاهش تعداد متغیّرها، مقدار اولیه‌ی واریانس موجود در داده‌ها را نیز حفظ می‌کند؛ سپس خوشه بندی با استفاده از آرایه‌ی Ward صورت گرفت که در آن همه عوامل به هفت عامل اصلی تبدیل شدند و در نهایت نقشه‌ی مرکب هر گروه تهیه شد. در نتایج به دست آمده در مجموع دو تیپ نشان دهنده الگوی تابستانه، سه تیپ نشان دهنده الگوی زمستانه و دو تیپ نشان دهنده الگوی پاییزی هستند. اینورژن‌های فصول سرد قوی‌تر بوده، دارای پایداری و تداوم بیشتری هستند که در نتیجه لایه ای از موادّ آلاینده در سطح شهر می‌ماند ودوام بیشتری دارد. با توجه به بررسی نقشه‌ها، الگوی پر فشار از سایر الگوها بیشتر دیده می شود و در بین هفت تیپ موجود، تیپ پنج که دارای الگوی زمستانه است به جهت تداوم بیشتر وارونگی‌ها، قوی‌ترین تیپ است.

کلید واژه‌ها: تیپ‌های هوا، وارونگی، تحلیل مؤلّفه‌های اصلی، خوشه بندی، طبقه بندی الگوهای فشار.

درآمد:

رشد روزافزون جمعیت و فعالیت‌های انسانی همراه با فن آوری‌های پیشرفته و صنایع بزرگ مشکل بزرگ آلودگی هوا را برای سکنه‌ی روی زمین فراهم کرده است. (انصافی مقدم، ۱۳۷۲: ۳). انسان موجودی است که

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱/۲۲ تاریخ تصویب:۱۳۸۸/۹/۱۵

تحت تأثیر شدید محیط از جمله آب و هوا می‌باشد. آب و هوا عامل مهم و مؤثّر بـر تمـام اشـیاء و پدیـده‌هـای محیط طبیعی است. شناخت آب و هوا از زمان‌های گذشته مورد توجه بوده است.(محمدی،۱۳۸۲: ۱).

الگوهای گردشی واچرخندی، چه در سطح زمین و چه در لایه‌های بـالایی اتمـسفر، هـوای آفتـابی ایجـاد کرده و پایداری به وجود می‌آورند که این موضوع سبب آلودگی شدید شهرهای پرجمعیت و صنعتی می‌شود. بنابراین در شرایطی که هوا پایدار باشد و ارتفاع لایه‌ی وارونگی دما پایین باشد، آلاینده‌های شهری داخل شـهر متراکم شده و غلظت آلودگی را بالا می‌برند. لذا با توجه به قرارگیری سامانه‌های پرفشار در شرق و شمال شرق کشور، در بسیاری از روزها پایداری ایجاد شده، بنابراین مشهد بیشتر تحت تأثیر آن‌هاست و این شهر نیز به جمع شهرهای آلوده پیوسته است(توسلی،۱۳۷۹: ۱۰).

بیشتر وارونگی‌های مشهد در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می دهند، همچنین جهت باد غالب مشهد که در سطح زمین جنوب شرقی-شمال غربی می‌باشد، هر نوع مـواد آلـوده کننـده ماننـد دود، گازهـا، ذرّات معلّـق و دیگر مواد آلاینده موجود در هوای منطقه‌ی جنوب شرق تا شرق مـشهد مـستقیماً روی فرودگـاه مـشهد انتقـال می‌یابند که موجب کاهش دید در این منطقه می‌شود. بادهای سطح بالا که با توجه به دیده بانی‌هـا توسـط بـالن رها شده مسیری را تا حدود چند کیلومتری در همان جهت شرق به غرب می‌پیماید، کـاملاً جهـت آن عکـس بادهای سطح زمین شده و به طرف شهر بازمی‌گردند. از این نظر آلودگی جو بالای مشهد بـا توجـه بـه اسـتقرار صـنایع در بخـش شـرق و جنـوب شـرق وجـود دارد. همچنـین وجـود کارگـاه‌هـای بـزرگ، تعمیرگـاه‌هـای اتوبوس‌رانی و پارکینگ اتوبوس‌ها در مسیر باد غالب، باعث کاهش دید و از طرفی این پدیده باعـث شـده در برخی روزهای مه آلود زمستانی، پدیده smog یا مه دود فتو شیمیایی، که مربوط به قطب‌هـای صـنعتی و آلـوده است، بروز کند. (مقدس خراسانی، ۱۳۶۶: ۱۹۳-۱۸۵)

جهت وسرعت باد نیز به عنوان یک عامل جوّی، نقش مهمی را در انتقال آلاینده‌ها دارند (موسوی، ۱۳۸۱). بسیاری از مطالعات تجربی و عددی می تواند توجیه کننده ارتباط بین وقوع آلودگی و هواشناسی باشد. آگاهی از پارامترهای لایه‌ی مرزی جهت انتقال آلـودگی مـورد نیـاز هـستند، بنـابراین شـبیه سـازی‌هـای میـان مقیـاس مسؤولیت پر کردن گپ میان داده‌های محلی (به دست آمده از طریق اندازه گیری) و نتایج الگوهای سینوپتیکی را بر عهده دارند (Troude و همکاران،۳۹۵-۲۰۰۱:۳۸۱). علیجـانی (۱۳۸۲) بـه شناسـایی تیـپ‌هـای هـوایی مـؤثّر بـر

آلودگی هوای تهران پرداخت، که در نتیجه شش تیپ هوایی شناسایی شد و با توجه به این کـه بیـشتر روزهـای آلوده در فصل پاییز بودند، بیشتر تیپ‌ها هم در این فصل مشاهده شدند. انتظـاری(۱۳۸۴) بـه مطالعـه‌ی آمـاری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران پرداخت که چهار تیپ عمده هوا، شامل: پر فشار سـیبری، پرفـشارهای غربـی، تیپ مداری و کم فشار خراسـانی اسـت. (Laurance و همکـاران،۵۱-۱۹۸۶:۲۱) وی بـا اسـتفاده از اقلـیم شناسـی سینوپتیک و کاربرد تحلیل عاملی به ارزشیابی تمرکز دی اکسید سولفور پرداخت و نتیجه گرفت که روش‌های سینوپتیکی ارزشیابی اثرات اقلیم بر تمرکز سولفور نتایج بهتری نسبت به روش‌هـای آمـاری قـدیمی دارنـد. لـذا روش‌های سینوپتیکی با استفاده از تحلیل مؤلّفه‌های اصلی و روش کلاستر دارای اطلاعـات مفیـد تـری بودنـد. همچنین (علیجانی،۱۳۸۰: ۲۱) تیپ‌های هوا و اثر آن بر اقلیم ایران را بررسی کرد وبا استفاده از تحلیل عاملی تعداد ۱۶۸ متغیّر (تلاقی) را به شش عامل اصلی تبدیل کرد. (طاهره انصافی‌مقدم،۱۳۷۲: ۳) همچنین، به بررسی آلـودگی هوای تهران در ارتباط با پایداری و وارونگی‌های دمای جو (اینورژن) پرداخت، که در نتیجه بـا وجـود ایـن کـه ازدیاد وقوع و درصد اینورژن با افزایش آلودگی ارتباط مستقیم دارد، اما بین کـاهش ارتفـاع لایـه‌ی اینـورژن و لایه‌ی آمیخته با شدت آلودگی هوا، رابطه‌ی غیر مستقیم وجود دارد.(رضا برهانی،۱۳۷۹: ۵-۱) به ارتباط آلودگی هوا و وارونگی دمایی با سرعت باد و شدت تابش خورشیدی (روی شهر تهران) پرداخته و نتایج حاصـل از ایـن بررسی نشان داد که نقش تابش در آلودگی هوای تهران بارز تر از سرعت باد است، که این به دلیـل کـم بـودن سرعت باد در اثر توپوگرافی و وجود کوهستان‌های اطراف تهران اسـت. (جـواد مـصلح تهرانـی،۱۳۷۰: ۶) انـواع وارونگی‌های دما لایه‌ی مرزی وردایست، تراز باد بیـشینه، بـرش قـائم بـاد و جریـان‌هـای جـت زیـر تـراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی تهران را مورد بررسی قرار داد. . لذا از آن جا که عامـل عمـده تمـام تغییـرات ویژگـی‌هـای محیط زیست انسانی، تغییرات فشار است، بنابراین، در هر نوع مطالعه‌ی مـسائل محیطـی وابـسته بـه اقلـیم، اولـین مرحله، شناسایی تیپ‌های هواست (علیجانی،۱۳۸۱: ۲۰۱).

داده‌ها و روش انجام تحقیق

با توجه به موقعیّت خاص جغرافیایی مشهد، که بیشتر ایام سال تحت نفوذ پر فشارهاست، همـین‌طـور واقـع

شدن در دره کشف رود که از جریانات کوه و دره نیز بی تأثیر نیست، وارونگی‌های مشهد مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، ابتدا آمار روزانه اینورژن‌های مشهد برای دوره مورد مطالعه، از سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۳، از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. این داده‌ها با گپ آماری همراه بود و چون داده‌های اینورژن قابل بازسازی نیستند، بنابراین فقط روزهای دارای آمار بررسی شد. داده‌ها تا ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریا، یعنی ۱۰۰ متر بالاتراز ارتفاع خود مشهد، به وسیله‌ی نرم افزار اکسل و فیلترگذاری استخراج شد. این داده‌ها دربرگیرنده ۳۲۴ روز طی شانزده سال دوره آماری است. با توجه به این که هدف این پژوهش شناسایی سیستم‌های سینوپتیک است، آمار فشار سطح دریا در ساعت ۰۰ روزهای دارای وارونگی را از سایت NCEP به صورت رقومی‌در محدوده ۲۰ تا ۴۷/۵ درجه‌ی شمالی و ۳۵ تا ۶۷/۵ درجه‌ی شرقی استخراج کرده وبرای آنها ماتریسی تهیه گردید. در مرحله‌ی بعد، به دلیل تعداد زیاد روزها که کار تحلیل و تفسیر نقشه‌ها را مشکل می ساخت، داده‌های فشار روزانه طبقه بندی شدند. برای طبقه بندی داده‌های فشار، از روش تحلیل عاملی با آرایه‌ی ward استفاده شد. سپس با استفاده از روش تحلیل عاملی، مؤلّفه‌های اصلی تلاقی، داده‌های فشار به تعداد محدودی عامل کاهش یافت. در این تحقیق با استفاده از آزمون غربالی، مؤلّفه‌هایی که بیش از نود درصد واریانس داده‌ها را توجیه می کردند، انتخاب شدند. (جدول ۱) سپس از این مؤلّفه‌ها برای خوشه بندی روزها استفاده شد و مؤلّفه‌هایی که در انتهای نمودار، دنباله‌ی مستقیمی‌را ایجاد کردند، حذف شدند. بنابراین عواملی که دارای ارزش ویژه هستند در تحلیل نهایی مورد استفاده قرارگرفتند. پس از استخراج عامل‌های اصلی، داده‌های اصلی در فرایند خوشه بندی روزها مورد استفاده قرار گرفت. جدول شماره ۲ نمونه ای از اعضای خوشه بندی را نشان می‌دهد. در مرحله‌ی بعدی، برای به دست آوردن الگوهای غالب هر کدام از گروه‌های آمده، از اعداد فشار سطح زمین در روزهای هر گروه میانگین گرفته شد. در مرحله‌ی آخر بر اساس اعداد میانگین گیری شده، برای هرکدام از گروه‌ها در نرم افزار surfer نقشه‌های مرکب برای داده‌های فشار سطح زمین تهیه گردید. در پایان با توجه به نقشه‌های به دست آمده، وجود کم فشارها و پر فشارها در سطح زمین و همچنین تأثیر عوامل محلی، تیپ‌های هوایی مؤثّر بر اینورژن‌های مشهد استخراج شد.

جدول ۱. توزیع واریانس تحلیل عاملی روزهای دارای اینورژن

نتایج توزیع واریانس						
	ارزش ویژه اولیه			استخراج بارگویه‌های مجموع مربع‌ها		
مؤلّفه	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۱۲۳/۴۵۰	۵۹/۳۵۱	۵۹/۳۵۱	۱۲۳/۴۵۰	۵۹/۳۵۱	۵۹/۳۵۱
۲	۳۰/۷۵۲	۱۴/۷۸۵	۷۴/۱۳۶	۳۰/۷۵۲	۱۴/۷۸۵	۷۴/۱۳۶
۳	۱۵/۷۹۷	۷/۵۹۵	۸۱/۷۳۰	۱۵/۷۹۷	۷/۵۹۵	۸۱/۷۳۰
۴	۸/۱۸۹	۳/۹۳۷	۸۵/۶۶۷	۸/۱۸۹	۳/۹۳۷	۸۵/۶۶۷
۵	۶/۷۲۷	۳/۲۳۴	۸۸/۹۰۱	۶/۷۲۷	۳/۲۳۴	۸۸/۹۰۱
۶	۴/۰۳۲	۱/۹۳۹	۹۰/۸۴۰	۴/۰۳۲	۱/۹۳۹	۹۰/۸۴۰
۷	۳/۵۹۱	۱/۷۲۶	۹۲/۵۶۶	۳/۵۹۱	۱/۷۲۶	۹۲/۵۶۶

جدول ۲. نمونه ای از اعضای کلاستر

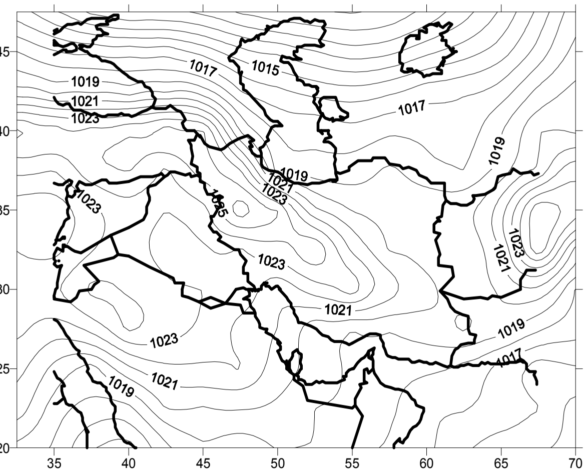
اعضای کلاستر	نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
	کلاستر	۱	۲	۳	۴	۵	۳	۳	۶

بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد

در بررسی‌های انجام شده پس از به دست آوردن الگوهای مؤثّر بر اینورژن‌ها که در نقشه‌های زیر آمده، بـه شرح آن‌ها می پردازیم:

الف) الگوی تیپ ۱

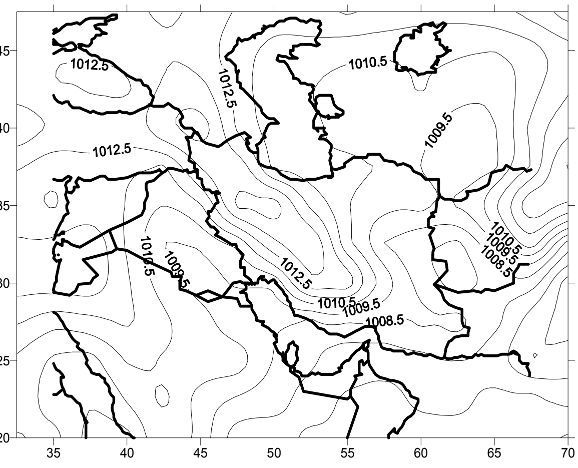
در این تیپ الگوی پر فشار با مرکزیت **۱۰۲۵** میلی بار روی شمال غرب کشور مستقر شده و زبانه‌هـای ایـن الگو تا انتهای زاگرس و همچنین کشور عراق و مناطق شمالی عربستان گسترش یافتـه اسـت. همچنـین الگـوی مشابهی روی شرق افغانستان دیده می شود. شمال دریای خزر و آرال در گستره الگوی کـم فـشار قـرار گرفتـه است. این وضعیت موجب پایداری و فرونشینی هوا روی بیشتر نقاط کشور و همچنین استان خراسـان مـی‌شـود که در بیشتر موارد و در صورت وجود هوای نسبتاً صاف شرایط وارونگی در ایستگاه مشهد مهیا مـی‌شـود. ایـن الگو عموما در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد.



نقشه ۱. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ ۱

ب) الگوی تیپ ۲

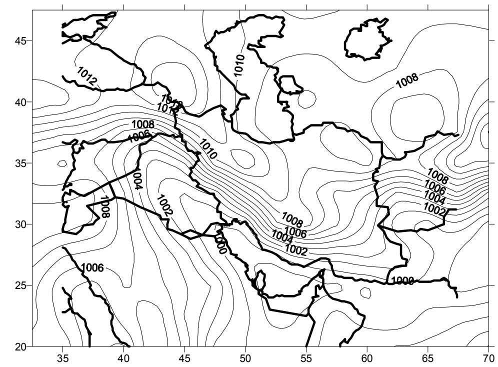
در تیپ دوم الگوی فشار سطح متوسط، دریا دارای گرادیان کم است و توزیع فشار نسبتاً هم گن است. اما دو الگوی پر فشار روی زاگرس تا مرز ترکیه و ارمنستان و الگوی دیگری با مرکزیت ۱۰۱۵ میلی باری روی شمال شرق افغانستان قرار دارد. در سایر نقاط خاورمیانه و کشورمان الگوی کم فشار حاکم است. این گونه توزیع فشار معمولاً در فصول غیر سرد سال دیده می شود.



نقشه ۲. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ ۲

پ) الگوی تیپ ۳

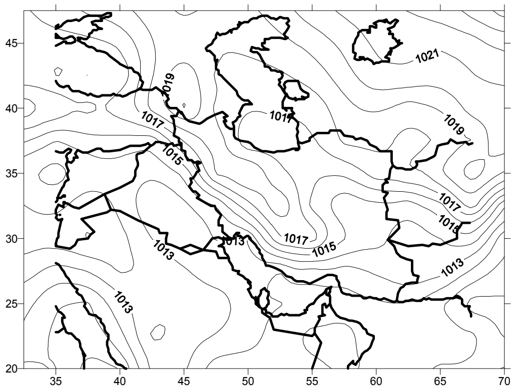
در تیپ ۳ کم فشار حرارتی مناطق حاره و مونسونی با مرکزیت ۹۹۹ میلی باری تا بخش‌های جنوبی خلیج فارس نفوذ کرده است. این الگوی فشاری در اواخر بهار و فصل تابستان روی کشورمان ایجاد شـده و موجـب افزایش دما در مناطق مرکزی و کم ارتفاع ایران می شود. در این الگو روی شمال غرب ایران فشار ۱۰۱۳ میلـی باری و روی شمال شرق کشورمان پر فشار ۱۰۰۹ بسته شده است. این توزیع فـشاری موجـب پایـداری هـوا بـه خصوص در شمال شرق و منطقه مشهد می شود. با این الگو وارونگی‌های دمایی در مشهد ایجـاد شـده امـا بـلا فاصله پس از طلوع آفتاب به تدریج تضعیف شده و وارونگی دما حدود ساعت ۹ تا ۱۰ صبح به کلی از بین می رود. در این گونه وارونگی‌های دمایی، علی رغم پایداری هوا در اوایـل روز، پـس از گذشـت چنـد سـاعت و تضعیف اینورژن از میزان آلاینده‌ها در جو کاسته می شود.



نقشه ۳. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ۳

ت) الگوی تیپ ۴

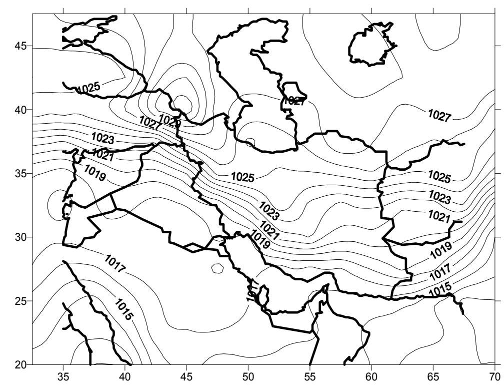
این الگوی فشاری عموماً در فصل پاییز ملاحظه می شود. در این الگو پـر فـشار ۱۰۲۰ میلـی بـاری و بـالاتر روی سیبری تا مرزهای شمال شرق کشور گسترده شده است که موجب پایداری هوا و وقوع پدیده‌ی اینورژن در این نقاط می شود. در سایر نقاط کشور، بخصوص بخش‌های جنوبی، الگوی کم فشار حاکم است.



نقشه ٤. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ٤

ث) الگوی تیپ ۵

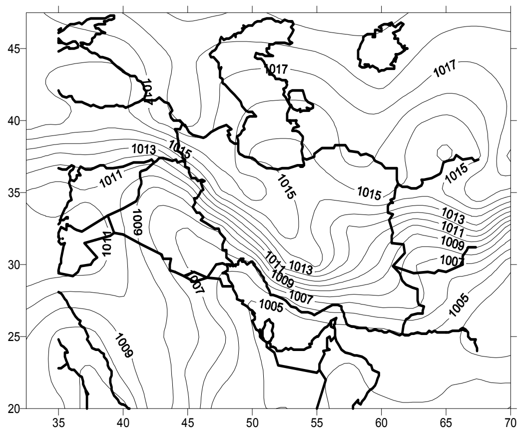
تیپ ۵ یک الگوی زمستانه را نشان می دهد که عموماً در فصل زمستان روی خاورمیانه تشکیل می شود و با نفوذ هوای سرد سیبری روی کشورمان همراه است. در این الگو پر فشار ۱۰۳۰ میلی باری روی شمال غرب کشورمان بسته شده و زبانه پر فشار ۱۰۲۷ میلی بار از مرزهای شمال شرق کشور عبور کرده است. در این توزیع فشاری، زبانه‌های پر فشار ۱۰۲۰ میلی باری تا جنوب کشورمان امتداد یافته است. از بین هفت الگوی خوشه بندی شده، این الگو از همه آن‌ها قوی تر و شرایط هوا پایدارتر است، لذا وارونگی‌های دمایی دوام بیشتری دارند و به دنبال آن آلودگی هوا در مراکز صنعتی و مشهد نسبت به سایر الگوها بیشتر است.



نقشه ۵. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ۵

ج)الگوی تیپ ۶

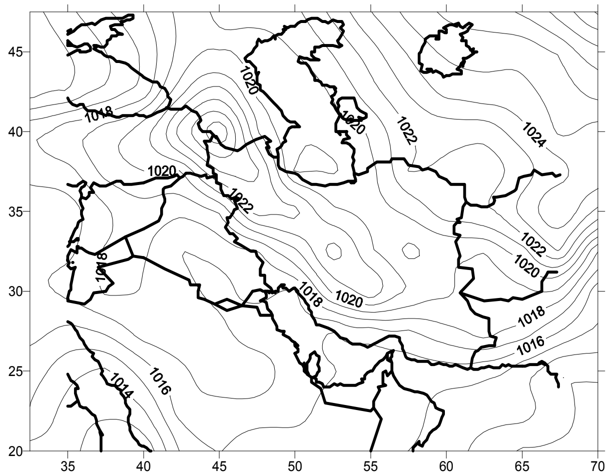
الگوی تیپ ۶ معمولاً در فصل بهار و پاییز شکل می گیرد. در این الگو شمال کشور در گستره الگوی پر فشار با مرکزیت ۱۰۱۸ تا ۱۰۱۹ میلی بار است و حد فاصل دریای عمان تا شمال خلیج فارس در گستره سامانه کم فشار ۱۰۰۵ میلی بار است. وجود سامانه‌ی پر فشار در شمال کشور موجب پایداری هوا و عدم وجود جریانات صعودی در سطح زمین می شود.



نقشه ٦. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ٦

چ) الگوی تیپ ۷

در این الگو پرفشار ۱۰۲۵ میلی باری روی شمال غرب کشور استقرار یافته که زبانه‌های آن تا منتهی الیه جنوب رشته کوه‌های زاگرس گسترده شده است. روی منطقه‌ی خراسان نیز زبانه‌های پر فشار سیبری با خط هم فشار ۱۰۲۲ میلی بار گسترش یافته است. این تیپ یک الگوی فشار زمستانه بوده، که با نفوذ هوای سرد سیبری و پایداری نسبتاً شدید هوا در کشورمان همراه است. به دلیل ایجاد وارونگی‌های دمایی و نبود تهویه‌ی هوا در لایه‌های زیرین، هوای منطقه کاملاً پایدار و آلودگی نسبتا زیاد خواهد بود.



نقشه ۷. الگوی فشار متوسط سطح دریا برای تیپ۷

نتیجه گیری

پژوهش حاضر، با استفاده از روش تحلیل عاملی وسپس فرایند خوشه بندی، به طبقه بندی الگوی نقشه‌های پراکندگی فشار در منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخته تا بر اساس آن بتوان با تحلیل و بررسی نقشه‌های فشار، الگوها و سیستم‌های فشار را شناسایی نمود. در فرایند خوشه بندی، که تمام مشاهدات به تناسب اندازه فاصله گروه‌بندی می شوند، به هفت خوشه تبدیل شده و بر اساس اعداد میانگین گیری شده برای هر کدام از گروه‌ها، نقشه‌های مرکّب برای داده‌های فشار سطح زمین تهیه گردید. از هفت نوع تیپ به دست آمده، سه نوع آن: الگوی زمستانه با استقرار پر فشار روی زاگرس شمالی، الگوی زمستانه باگسترش پر فشار سیبری روی فلات ایران و الگوی زمستانه با استقرار پر فشار روی آرال، دو الگوی تابستانه با استقرار پر فشار روی شمال غرب کشور و استقرار کم فشار روی خلیج فارس و دو الگوی پاییزی با استقرار پر فشار روی دریای آرال و نوار شمالی کشور است. بنابر این نتیجه می‌شود، بیشتر وارونگی‌ها در زمستان واقع شده و دارای تداوم و قدرت بیشتری هستند.

منابع و مآخذ

۱. انتظاری،علیرضا، (۱۳۸۴)، *مطالعه آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران*، رساله‌ی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۲. انصافی مقدم، طاهره، (۱۳۷۲) ، *بررسی آلودگی هوای تهران در رابطه با پایداری و وارونگی دمای جوی (اینورژن)* ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۳. برهانی، رضا، (۱۳۷۹) ، *ارتباط آلودگی هوا و وارونگی دمایی با سرعت باد و شدّت تابش خورشیدی (روی شهر تهران)*،پایان نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی کشور .

٤. توسلی، جواد،(۱۳۷۹)، *حسن بررسی سیستم‌های آلودگی در منابع عمده آلاینده هوا شامل کارخانجات (سیمان، آسفالت، گچ و آهک استان خراسان).*

۵. علیجانی، بهلول، (۱۳۸۰) ، *تیپ‌های هوا واثر آنها بر اقلیم ایران* ،کاوش نامه دانشگاه یزد،۲۱ شماره ۳.

٦. علیجانی، بهلول، (۱۳۸۱) ،*اقلیم شناسی سنوپتیک*، انتشارات سمت، چاپ اول .

۷. علیجانی، بهلول، (۱۳۸۲) ، *شناسایی تیپ‌های هوایی مؤثر بر آلودگی هوای تهران*، سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم اصفهان: ۱۶۸ .

۸ محمدی، حسین مراد،(۱۳۸۲) ، *فرایندها و سیستم‌های جوی*، انتشارات دانشگاه تهران .

۹. مصلح تهرانی، جواد، (۱۳۷۰) ، *بررسی انواع وارونگی‌های دما لا یه‌ی مرزی وردایست تراز باد بیشینه‌ی برش قائم باد و جریان‌های جت زیر تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی تهران* ، پایان نامه کارشناسی ارشد مؤسّسه‌ی ژئو فیزیک دانشگاه تهران.

۱۰. مقدس خراسانی ، محمد حسین ،(۱۳۶۶) ، *وضع دید افقی در شهر مشهد و ارتباط آن با جهت بادها و اینورژن‌ها*، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴ .

۱۱. موسوی، محمد. معروف، محمد صادق. نائینی، امین. (۱۳۸۱) ، *بررسی پتانسیل تشکیل مه دود فتو شیمیایی ناشی از صنایع در مشهد*، نشریه نیوار ۴۵و۴۴ .

۱۲.F. Troude, E. Dupont, B. Carissimo and a. I. Flossmann, (۲۰۰۱), *Mesoscale Meteorological Simulations In Paris:Comparisons with observations during the experiment eclap*, boundary-layer meteorology ۹۹: ۲۱–۵۱, ۲۰۰۱.

۱۳.Laurence S. Kalkstein and peter Corrigan, (۱۹۸۶), *A Synoptic Climatological Approach For Geographical Analysis: Assessment Of Sulfur Dioxide Concentrations*, ۷۶(۳), pp ۳۸۱–

۳۹۵.